

ارائه مدل‌های مناسب برای برآورد زی‌توده برخی درختان سوزنی‌برگ و پهن‌برگ با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای Quickbird در جنگل‌کاری‌های مجتمع فولاد مبارکه اصفهان

سیده‌زهره حسینی^{۱*}، مژگان عباسی^۲، سیاوش بختیاروند^۳ و محمد صالحی^۴

*- نویسنده مسئول، دانشجوی کارشناسی ارشد جنگلداری، گروه علوم جنگل، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران

پست الکترونیک: z_hosseini91@ut.ac.ir

۲- استادیار، گروه علوم جنگل، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران

۳- دانشجوی دکتری جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران

۴- کارشناسی ارشد جنگلداری، گروه علوم جنگل، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران

تاریخ دریافت: ۹۳/۰۷/۲۰

تاریخ پذیرش: ۹۳/۱۰/۲۲

چکیده

اندازه‌گیری مستقیم زی‌توده بسیار مشکل، پرهزینه، زمان‌بر و از جمله روش‌های تخریبی به دلیل قطع درختان است. هدف پژوهش پیش‌رو برآورد زی‌توده درختان در چهار گونه شامل کاج تهران (*Pinus eldarica*)، سرو نقره‌ای (*Cupressus arizonica*)، افاقیا (*Robinia pseudoacacia*) و توت (*Morus alba*) با استفاده از روش‌های مختلف سنجش از دوری براساس داده‌های ماهواره QuickBird در جنگل‌کاری منطقه صنعتی فولاد مبارکه اصفهان بوده است. با استفاده از سه روش شامل شاخص‌های گیاهی، روش تجزیه و تحلیل بافت به همراه شاخص‌های گیاهی و تجزیه مؤلفه اصلی (PCA)، اطلاعات مورد نیاز از تصویر ماهواره‌ای استخراج شد. سپس با استفاده از مقدار زی‌توده اندازه‌گیری شده زمینی و اطلاعات استخراج شده از روش‌های سنجش از دوری، محاسبات همبستگی در محل نمونه‌ها انجام شد و رابطه‌های برآورد زی‌توده بر مبنای هر روش و برای هر گونه ارائه شد. روش‌های شاخص‌های گیاهی (DVI و NDVI) برای برآورد زی‌توده سوزنی‌برگان و روش‌های تجزیه و تحلیل بافت و تجزیه مؤلفه اصلی برای برآورد زی‌توده پهن‌برگان، نتایج معنی‌داری را نشان دادند. با توجه به مدل رگرسیونی ارائه شده برای هر گونه، مقدار زی‌توده برآورد و مقدار مجذور میانگین مربعات خطا به ترتیب برابر ۳۰، ۱۰، ۳۰ - و ۴۴ به دست آمد. مقادیر مجذور میانگین مربعات خطا و اریبی به دست آمده کارایی روش‌های اجرا شده در برآورد زی‌توده را نشان می‌دهد.

واژه‌های کلیدی: تصویر ماهواره‌ای، جنگل‌کاری، زی‌توده، مجتمع فولاد مبارکه، QuickBird.

مقدمه

هر منطقه می‌شود، برای کاهش مقدار این آلاینده‌ها روش‌های مختلفی اجرا می‌شود. یکی از این روش‌ها، تکیه بر چرخه طبیعت و استفاده از جنگل‌کاری در اطراف مناطق صنعتی است (Bakhtiarvand Bakhtiari & Sohrabi, 2012). جنگل‌کاری علاوه بر ذخیره کربن در اندام‌های

امروزه با توجه به نقش غیرقابل انکار صنعت در چرخه اقتصادی و توسعه کشورها، گسترش مناطق صنعتی روندی سریع در کشورهای پیشرفته و در حال توسعه دارد. از آنجا که وجود این مناطق باعث افزایش آلودگی‌های مختلف در

(Bordbar & Mortazavi Jahromi, 2006; Kabiri, 2009; Varamesh *et al.*, 2009; Panahi *et al.*, 2011; Momeni, 2013; Pourhashemi *et al.*, 2012). دسته دوم پژوهش‌هایی هستند که با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و تکنیک‌های سنجش از دور برای برآورد زی توده درختان انجام شده‌اند. در همین زمینه تحقیقی در علفزاری در شمال چین با استفاده از داده‌های سنجش از دور و بکارگیری شاخص‌های گیاهی در یک دوره شش ساله از ۲۰۰۶ تا ۲۰۱۲ برای برآورد مدل زی توده و پویایی آن انجام شد که نتایج این پژوهش نشان از دقت ۷۳ درصدی مدل برآورد زی توده براساس داده‌های زمینی و سنجش از دور داشت (Jin *et al.*, 2014). پژوهش دیگری در مراتع مرکزی مونتانا با هدف مقایسه توانایی مدل رگرسیون NDVI در برآورد زی توده با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و ارائه روشی سریع، دقیق و غیرمخرب با استفاده از عملکرد زی توده و پاسخ طیفی گیاهان در مراحل مختلف فنولوژیکی در دو فصل رشد انجام شد. نتایج این مطالعه نشان داد که تخمین زی توده در نواحی طیفی قرمز، لبه قرمز و باند مادون قرمز نزدیک در مرحله رشد گیاهان امکان‌پذیرتر است (Porter *et al.*, 2014). مطالعه‌ای دیگر در فلات Loss چین در مورد جنگل‌کاری آفاقاً انجام شد. در این تحقیق میزان زی توده جنگل‌کاری با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای QuickBird و برداشت‌های زمینی هم‌زمان مورد بررسی قرار گرفت شد که براساس نتایج این مطالعه استفاده از شاخص بافت به همراه شاخص‌های گیاهی نسبت به استفاده از شاخص‌های گیاهی به‌تنهایی و همچنین متغیرهای توپوگرافی نتایج مناسب‌تر و دقیق‌تری را به همراه داشت (Zhou *et al.*, 2013). در پژوهشی در منطقه Carpathians غربی با هدف بروزرسانی اطلاعات زی توده با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای به‌عنوان یک روش مکمل یا جایگزین و با اعمال رگرسیون بین موجودی جنگل و داده‌های ماهواره‌ای، با استفاده از موجودی زمینی و بکارگیری داده‌های سنجش از دور، از تصاویر ماهواره لندست و اطلاعات توپوگرافی استفاده شد. براساس نتایج این پژوهش، برآورد زی توده با تصاویر

هوایی و زمینی درختان با بهبود ترسیب کربن در مواد آلی لایه‌های زیرین خاک، در کاهش انتشار دی‌اکسیدکربن نقش مهمی دارد (Anonymous, 2001).

با توجه به اهمیت جنگل‌کاری‌ها در مناطق صنعتی، استفاده از روش‌های جدید به‌منظور ارزیابی نقش درختان مختلف در کاهش آلودگی‌ها و ترسیب کربن ضروری به‌نظر می‌رسد (Varamesh *et al.*, 2009). برآورد میزان زی توده گیاهان با استفاده از روش‌های سنجش از دور امکان‌پذیر است (Cairns *et al.*, 2003). با توجه به محدودیت‌های روش‌های زمینی در اندازه‌گیری جنگل، در دهه گذشته سنجش از دور به‌طور گسترده‌ای برای اندازه‌گیری زی توده استفاده شده است (Ghasemi *et al.*, 2011). از آنجاکه زی توده پایه و اساس بوم‌سازگان‌های خشکی از جمله جنگل، مرتع و گندمزار است (Jin *et al.*, 2014)، پایش تغییرات زی توده در طول زمان از نظر زیست‌محیطی و اقتصادی مهم است (Zhao *et al.*, 2009).

به‌منظور برآورد پارامترهای بیوفیزیکی گیاهان مانند زی توده و شاخص سطح برگ با استفاده از داده‌های سنجش از دوری از دو روش فیزیکی و آماری استفاده می‌شود که از بین روش‌های آماری، استفاده از شاخص‌های طیفی همچون شاخص‌های گیاهی تفاضلی نرمال شده (NDVI) و شاخص گیاهی تفاضلی (DVI) به‌دلیل سهولت استفاده می‌شود (Baret & Guyot, 1991). از سایر روش‌هایی که امکان کسب اطلاعات از تصاویر ماهواره‌ای را در مطالعات پوشش گیاهی فراهم می‌کنند می‌توان به روش‌های تجزیه و تحلیل بافت و آنالیز مؤلفه‌های اصلی (PCA) اشاره کرد.

پژوهش‌هایی را که برای برآورد زی توده انجام شده است می‌توان به دو دسته کلی تقسیم کرد: دسته اول پژوهش‌هایی هستند که به شیوه زمینی و توسط قطع کامل درختان انجام شده است. در این رابطه تحقیقات بسیاری در نقاط مختلف دنیا انجام شده است (Laclau, 2003; Espinosa *et al.*, 2007; Trakunpinut *et al.*, 2005). در ایران، تحقیق در مورد زی توده درختان نوپاست و تاکنون گونه‌های اندکی از جنگل‌های طبیعی و دست‌کاشت مورد مطالعه قرار گرفته‌اند

سرد است (Anonymous, 1992). این منطقه دارای جنگل‌کاری‌هایی به وسعت ۱۵۰۰ هکتار از گونه‌های پهن‌برگ و سوزنی‌برگ همانند توت، اقاچیا، کاج تهران و سرو نقره‌ای و چند گونه دیگر است که به‌صورت توده‌های خالص و همسال کاشته شده‌اند. وسعت جنگل‌کاری‌ها با گونه کاج تهران حدود ۴۰۰ هکتار، سرو نقره‌ای حدود ۲۰۰ هکتار، توت حدود ۲۰۰ هکتار و اقاچیا حدود ۱۰۰ هکتار است و حدود ۶۰۰ هکتار نیز اختصاص به سایر گونه‌ها دارد.

داده‌های مورد استفاده

در این پژوهش از تصاویر ماهواره QuickBird مربوط به تاریخ ۳۱ اوت سال ۲۰۰۸ استفاده شد. دلیل استفاده این تصویر، در دسترس نبودن تصویر ماهواره‌ای با کیفیت و جدیدتر از منطقه مورد مطالعه بود. تصحیحات هندسی، اتمسفری و رادیومتری قبلاً روی این تصاویر انجام شده بود. با وجود این تصحیحات، تصویر QuickBird از نظر وجود خطای رادیومتری نظیر خطاهای حاصل از عدم ثبت داده‌ها توسط سنجنده، خطای ناشی از کالیبراسیون نابرابر آشکارسازها همانند راه‌شدگی مورد بررسی قرار گرفت که از این نظر خطایی مشاهده نشد. تطابق هندسی تصویر به روش GCPs و با انتخاب ۱۵ نقطه کنترل زمینی با توزیع مناسب و با RMSE برابر ۰/۰۲ پیکسل در محور X و ۰/۰۳ پیکسل در محور Y تصویر مورد نظر زمین مرجع شد. داده‌های مربوط به زی‌توده زمینی از مطالعه‌ای که در این منطقه به روش قطع پنچ درخت در هر پلات و در ۱۲ پلات به ابعاد ۲۰ × ۲۱ متر (سه پلات از چهار گونه موجود در جنگل‌کاری) انجام شده بود، استخراج شد (Bakhtiarvand Bakhtiari & Sohrabi, 2012).

روش مطالعه

از آنجاکه در این پژوهش از داده‌های زمینی زی‌توده منطقه جنگل‌کاری استفاده شد، ابتدا محدوده پلات‌های زمینی برای هر چهار گونه کاشته شده (برای هر گونه سه پلات)، با دستگاه GPS دستی گارمین مدل eTrex 10 برداشت شد و محدوده پلات‌ها ترسیم شد. سپس با قرار

لندست با ضریب همبستگی ۰/۵۲ و براساس موجودی حجمی جنگل ۰/۹۸ به‌دست آمد که با اضافه کردن ارتفاع درخت و موجودی سرپا در رگرسیون، ارزیابی با تصاویر لندست به ۰/۳۶ و ۰/۸۶ افزایش یافت (Main-Knorn et al., 2011). پژوهش مشابه دیگری نیز در نقاط مختلف دنیا در این زمینه انجام شده است که برای برآورد زی‌توده نتایج مطلوبی را به‌دست آورده‌اند (Steininger, 2000). با توجه به مطالعات انجام‌شده در مورد برآورد زی‌توده در دنیا و نتایج مثبت آن، بکارگیری این روش در مطالعات برآورد زی‌توده ضروری بنظر می‌رسد.

از آنجاکه تاکنون در داخل کشور پژوهشی در مورد برآورد زی‌توده جنگل و جنگل‌کاری‌ها با استفاده از تصاویر QuickBird و تکنیک‌های سنجنش از دور انجام نشده است و همچنین با توجه به اهمیت درختان در جنگل‌کاری‌های مناطق صنعتی به‌دلیل جذب آلاینده‌های مختلف، پژوهش پیش‌رو با هدف مقایسه روش‌های مختلف سنجنش از دوری در برآورد زی‌توده گونه‌های پهن‌برگ و سوزنی‌برگ کاشته شده در مجتمع فولاد مبارکه اصفهان با استفاده از تصاویر ماهواره QuickBird انجام شد. همچنین همچنین بکارگیری روش‌هایی سریع، دقیق و فاقد اثرات تخریبی در مورد قطع درختان در این پژوهش مدنظر بوده است. اهداف فرعی تحقیق نیز شامل ارزیابی توان داده‌های سنجنده QuickBird در برآورد میزان زی‌توده جنگل و بررسی رابطه بین NDVI و DVI، شاخص جداسازی بافت و آنالیز مؤلفه اصلی با میزان زی‌توده درختان منطقه مورد مطالعه است.

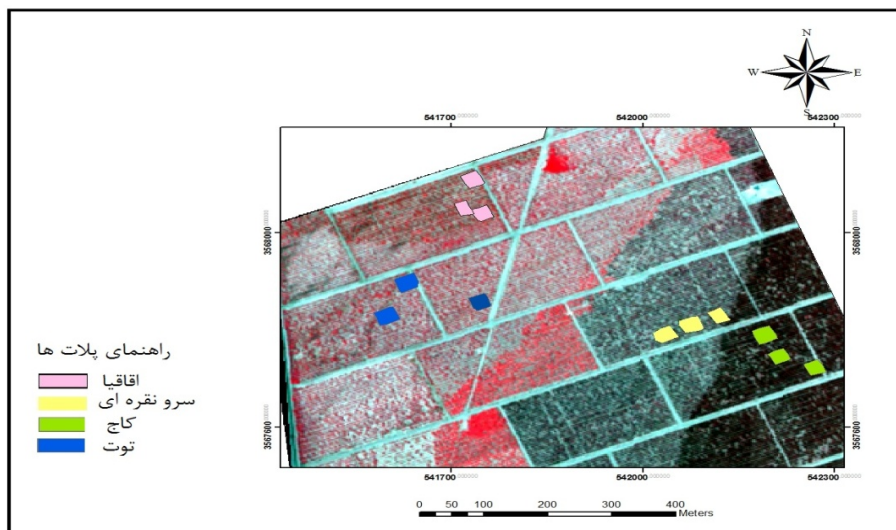
مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه جنگل‌کاری‌های اطراف مجتمع فولاد مبارکه اصفهان می‌باشد که در ۵۰ کیلومتری جنوب‌غربی این شهر واقع شده است. پست‌ترین نقطه در شمال عرصه قرار گرفته که ارتفاع آن از سطح دریا برابر ۱۷۱۹ متر بوده و بلندترین نقطه با ارتفاع ۱۸۲۳ متر در جنوب منطقه قرار گرفته است. اقلیم منطقه براساس روش آمبرژه، خشک و

شکل ۱ محدوده پلات‌های زمینی بر روی تصویر ماهواره‌ای مشخص شده است.

دادن لایه برداری پلات‌ها روی تصویر ماهواره‌ای، روش‌های سنجش از دوری به منظور برآورد زی توده اعمال شد. در



شکل ۱- موقعیت پلات‌های برداشت شده در سطح منطقه

را افزایش می‌دهد (Maudie et al., 1999). به منظور تشخیص بهتر زی توده گونه‌های مختلف درختان از باندهای مصنوعی حاصل از تجزیه و تحلیل بافتی شامل تباین، تجانس، همگنی، میانگین، همبستگی و انحراف معیار در محیط نرم‌افزار Envi4.7 استفاده شد. الگوی بافتی توسط مقادیر درجه خاکستری با تغییرپذیری تن تصویر در منطقه یا در محیط همسایگی با استفاده از پنجره‌ای که بر روی تصویر قرار داده شده، مشخص می‌شود. در این تحقیق الگوهای بافت برای بررسی زی توده توسط تغییرپذیری درجه خاکستری تصویر ماهواره‌ای در پیکسل‌های همسایه به طریق خودکار و با استفاده از ماتریس هم‌وقوعی بررسی شدند. به منظور انتخاب ابعاد مناسب ماتریس از ماتریس به ابعاد 17×17 ، 15×15 ، 13×13 ... 5×5 و 3×3 بر روی تصویر استفاده شد. با قرارگیری ماتریس بر روی شاخص‌های گیاهی ایجاد شده در مرحله پیشین و براساس تغییرپذیری تن تصویر در محل پیکسل‌های همسایه، اعداد استخراج شده از این تصویر با ابعاد پنجره 3×3 بیشترین همبستگی را با مقدار زی توده داشت و در نهایت بهترین ابعاد پنجره برای بررسی زی توده 3×3 انتخاب شد.

محاسبه و بکارگیری شاخص‌های گیاهی

شاخص NDVI به طور وسیعی حساس به ویژگی‌های خاک است. مقدار این شاخص در محدوده $+1$ تا -1 قرار دارد و واکنش به اعمال فتوسنتزی را بخوبی نشان می‌دهد و هرچه مقدار NDVI به $+1$ نزدیک‌تر باشد، پوشش گیاهی در منطقه بیشتر است (Rafii et al., 2012). شاخص NDVI و شاخص DVI برای مقادیر به نسبت زیاد و کم شاخص سطح برگ و زی توده پیشنهاد شده است (Chen et al., 1996). در این پژوهش ب اساس بازتاب طیفی پوشش گیاهی هر پلات، شاخص NDVI (رابطه ۱) و DVI (رابطه ۲) برای هر پلات به صورت میانگین محاسبه شد.

$$\text{رابطه ۱} \quad \text{NDVI} = \frac{\text{NIR} - \text{RED}}{\text{NIR} + \text{RED}}$$

$$\text{رابطه ۲} \quad \text{DVI} = \text{NIR} - \text{RED}$$

که در آن: NIR = محدوده فرورسرخ (مادون قرمز) و RED = محدوده سرخ (قرمز) می‌باشد.

روش جداسازی بافت

استفاده از باند پانکروماتیک ماهواره QuickBird برای روش آنالیز بافت امکان تشخیص پارامترهای خاص جنگل

روش آنالیز مؤلفه اصلی

آنالیز مؤلفه اصلی اغلب به عنوان یک روش مترادف سازی برای تفسیر بهتر اطلاعات ماهواره‌ای بکار برده می‌شود. در این مطالعه نیز به منظور فشرده سازی اطلاعات طیفی باندهای مورد استفاده در تحقیق از روش آنالیز مؤلفه اصلی استفاده شد. این تبدیل در اصل جهت فشرده سازی داده‌ها بکار می‌رود و با این کار اطلاعاتی را فراهم می‌نماید که در بسیاری از موارد، استخراج موضوعات مورد نظر در مقایسه با باندهای اصلی ماهواره‌ای را بهتر انجام می‌دهد (Firuzinezhad et al., 2013). در پژوهش پیش‌رو، پس از ایجاد باند PCA، این باند برای برآورد میزان زی توده بررسی شد و همبستگی خطی اعداد استخراج شده از این باند برای برآورد زی توده با مقادیر زی توده زمینی مورد بررسی قرار گرفت.

تجزیه و تحلیل اطلاعات و برآورد مقدار زی توده برای هر گونه

پس از برآورد مقدار زی توده با استفاده از شاخص‌ها و روش‌های مورد استفاده، مقدار زی توده برای هر گونه محاسبه شد. همچنین مقدار اریبی (Bias) و جذر مربع میانگین خطای نسبی (RMSE) و مقدار زی توده میانگین برای هر سه پلات هر گونه درختی محاسبه شد. محاسبات آماری با استفاده از نرم‌افزار SPSS انجام گرفت. ابتدا تبعیت داده‌ها از توزیع نرمال با استفاده از آزمون کلموگروف-سمیرونف بررسی شد. مقایسه میزان زی توده چهار گونه با چهار روش اندازه‌گیری شده با استفاده از تحلیل واریانس یک طرفه (One-Way ANOVA) و در قالب طرح کاملاً تصادفی انجام شد. برای بررسی رابطه میزان زی توده چهار گونه درختی با تصاویر ماهواره‌ای از مدل رگرسیونی خطی استفاده گردید. با استفاده از نرم‌افزار آماری SPSS متغیرهای وابسته و مستقل شرکت‌کننده در مدل برآورد زی توده مورد بررسی و تجزیه و تحلیل قرار گرفت. این مدل آماری عامل‌ها یا متغیرهای بی‌اثر را در محاسبه دخالت نمی‌دهد، سپس متغیرهایی که بیشترین همبستگی را با متغیر وابسته داشته باشند، در قالب یک معادله معرفی می‌کند. در این مدل میزان

زی توده اندازه‌گیری شده از پلات‌ها با برداشت‌های زمینی به- عنوان متغیر وابسته و اعداد استخراج شده با سه روش سنجش از دوری به عنوان متغیرهای مستقل در مدل قرار گرفتند، بدین صورت که ابتدا معادله اول با استفاده از شاخص‌های گیاهی تشکیل و در معادله دوم بافت در معادله اضافه شد و در معادله بعد PCA به معادله اضافه شد و در هر مرحله فرمول ایجاد شده با دقت بیشتری مقدار زی توده را برآورد کرد و رابطه نهایی که با اعمال تمامی عامل‌ها تشکیل شد، برآوردی نزدیک به مقدار اندازه‌گیری شده در روش زمینی را محاسبه کرد. لازم به ذکر است که در ابتدا برای هر کدام از روش‌ها معادله رگرسیونی خطی ایجاد شد و با این معادله مقدار Bias و RMSE به دست آمد. در مرحله بعد مدل رگرسیونی خطی داده‌های ترکیبی از روش‌های مختلف سنجش از دور وارد معادله شد و در هر مرحله مقدار Bias و RMSE مدل به دست آمد. برای تعیین دقت برآورد زی توده هر یک از شاخص‌های مورد استفاده در تحقیق از روش اعتبارسنجی مدل با توجه به تعیین میزان Bias استفاده شده است که در این روش مقدار میانگین زی توده پلات‌ها برآورد شده از روابط آلومتری از میزان میانگین زی توده پلات‌ها اندازه‌گیری شده از تصاویر کم شد و این کار به تعداد کل گونه‌ها تکرار شد (رابطه ۳). در نهایت به منظور تعیین دقت، از مقادیر ضریب تعیین و RMSE بین مقادیر زی توده اندازه‌گیری شده و مقادیر برآورد شده استفاده شد (رابطه ۴).

$$\text{Bias} = \bar{e}_1 - \bar{e}_2 \quad \text{رابطه ۳}$$

$$\text{RMSE} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (e_i - \hat{e}_i)^2}{n}} \quad \text{رابطه ۴}$$

نتایج

نتایج به دست آمده از برآورد زی توده بر حسب کیلوگرم در هکتار برای گونه‌های پهن برگ و سوزنی برگ به شرح زیر است:

نتایج برآورد زی توده با بکارگیری شاخص‌های گیاهی

شاخص‌های گیاهی براساس رابطه‌های ۱ و ۲ روی همه

پیکسل‌های تصویر در یک زمان و مکان بدون توجه به شرایط سطح زمین اعمال می‌شوند. نتایج مقادیر برآورد شده زی توده با استفاده از شاخص NDVI و DVI برای پلات‌های هر گونه درختی در جدول‌های ۱ و ۲ ارائه شده است.

جدول ۱- میزان زی توده برآورد شده برای هر پلات با استفاده از شاخص NDVI

Bias	RMSE	اندازه‌گیری	برآورد	تعداد پلات	گونه
-۴۰/۳۶	۲۳/۳	۲۷۶۴/۶۲	۲۷۲۴/۲۶	۳	کاج تهران
-۲۹/۹۳	۱۷/۲۸	۱۵۵۵/۰۵	۱۵۲۵/۱۲	۳	سرو
۱۶/۹۷	۹/۷۹	۴۹۷/۲	۵۱۴/۱۷	۳	اقاقیا
-۴۲/۷۸	۲۴/۶۹	۵۷۳/۲۴	۵۳۰/۴۶	۳	توت

جدول ۲- میزان زی توده برآورد شده با استفاده از شاخص DVI

Bias	RMSE	اندازه‌گیری	برآورد	تعداد پلات	گونه
-۲۸/۴۹	۱۶/۴۴	۲۷۶۴/۶۲	۲۷۳۶/۱۳	۳	کاج تهران
۲۷/۱۱	۱۵/۶۵	۱۵۵۵/۰۵	۱۵۸۲/۱۷	۳	سرو نقره‌ای
۱۳/۹۸	۸/۰۷	۴۹۷/۲	۵۱۱/۱۸	۳	اقاقیا
-۴۶/۷۸	۲۷/۰۸	۵۷۳/۲۴	۵۲۶/۴۶	۳	توت

نتایج برآورد زی توده با بکارگیری روش جداسازی بافت نتایج به دست آمده از بکارگیری روش جداسازی بافت برای برآورد مقدار زی توده در پلات‌های مورد بررسی در جدول ۳ ارائه شده است.

جدول ۳- میزان زی توده برآورد شده با استفاده از روش جداسازی بافت

Bias	RMSE	اندازه‌گیری	برآورد	تعداد پلات	گونه
-۲۲/۴۷	۱۲۱/۹۷	۲۷۶۴/۶۲	۲۷۴۲/۱۵	۳	کاج تهران
-۴۲/۹۲	۲۴/۷۷	۱۵۵۵/۰۵	۱۵۱۲/۱۳	۳	سرو نقره‌ای
۲۳/۹۷	۱۳/۸۳	۴۹۷/۲	۵۲۱/۱۷	۳	اقاقیا
-۳۵/۰۵	۲۰/۲۳	۵۷۳/۲۴	۵۳۸/۱۹	۳	توت

نتایج برآورد زی توده با بکارگیری روش آنالیز مؤلفه اصلی نتایج به دست آمده از بکارگیری روش آنالیز مؤلفه اصلی در برآورد مقدار زی توده برای پلات‌های مورد مطالعه در جدول ۴ ارائه شده است.

جدول ۴- میزان زی توده برآورد شده با استفاده از روش آنالیز مؤلفه اصلی (PCA)

Bias	RMSE	اندازه‌گیری	برآورد	تعداد پلات	گونه
۲۳/۵۶	۱۴/۱۷	۲۷۶۴/۶۲	۲۷۸۹/۱۸	۳	کاج تهران
۱۲/۳۴	۷/۱۲	۱۵۵۵/۰۵	۱۵۶۷/۳۹	۳	سرو نقره‌ای
-۱۹/۰۷	۱۱/۰۹	۴۹۷/۲	۴۷۸/۱۳	۳	اقاقیا
۱۴/۰۴	۸/۱	۵۷۳/۲۴	۵۸۷/۲۸	۳	توت

نتایج برآورد مقدار زی توده برآورد شده برای هر گونه بر شاخص‌های مورد استفاده، مقدار زی توده برآورد شده برای حسب کیلوگرم در هکتار پس از برآورد مقدار زی توده با استفاده از روش‌ها و هر گونه محاسبه شد که نتایج در جدول‌های ۵ تا ۸ ارائه شده است.

جدول ۵- مقدار زی توده برآورد شده برای کاج تهران

زی توده برآورد شده	RMSE	Bias	زی توده پلات‌های کاج تهران
۲۷۱۴/۶۹			
۲۶۹۲/۸۸	۵۳	۳۰	۲۷۴۲/۹۸
۲۸۲۱/۳۷۹			

جدول ۶- مقدار زی توده برآورد شده برای سرو نقره‌ای

زی توده برآورد شده	RMSE	Bias	زی توده پلات‌های سرو نقره‌ای
۱۴۹۲/۸۸			
۱۸۰۵/۶۵۵	۲۰	۱۰	۱۵۸۵/۴۲
۱۴۵۷/۷۵			

جدول ۷- مقدار زی توده برآورد شده برای افاقیا

زی توده برآورد شده	RMSE	Bias	زی توده پلات‌های افاقیا
۴۵۵/۹۷۶			
۴۷۸/۳۱	۳۰	-۳۰	۴۵۷/۱۹
۴۳۷/۲۹			

جدول ۸- مقدار زی توده برآورد شده برای توت

زی توده برآورد شده	RMSE	Bias	زی توده پلات‌های توت
۵۸۷/۱۷۱			
۶۲۹/۱۳	۵۰	۴۴	۶۰۶/۷۶
۶۰۴/۰۰۱			

مدل رگرسیونی برآورد زی توده برای کاج تهران با ضریب تشخیص ۰/۶۱، برای سرو نقره‌ای با ضریب تشخیص ۰/۷۲، برای کاج تهران با ضریب تشخیص ۰/۸۶ و برای توت با ضریب تشخیص ۰/۳۷ به ترتیب به صورت رابطه‌های ۵، ۶، ۷ و ۸ محاسبه شد.

$$y = 2698/478 - 41/142 \text{SAVI} - 5/897 \text{MSAVI} \quad \text{رابطه ۵}$$

$$y = 1902/21 - 145/21 \text{Texture} - 5/326 \text{MSAVI} \quad \text{رابطه ۶}$$

$$y = 42/819 + 2540/11 \text{NDVI} - 58/345 \text{MSAVI} \quad \text{رابطه ۷}$$

$$y = 184/35 + 1/105 \text{PCA} + 97 \text{MSAVI} \quad \text{رابطه ۸}$$

بحث

یکی از روش‌های دقیق محاسبه زی توده جنگل و جنگل‌کاری‌ها، قطع کامل درختان و انجام اندازه‌گیری‌های آزمایشگاهی متعدد است که علاوه بر صرف زمان و هزینه‌بر بودن، نابودی کامل درختان مورد مطالعه را نیز به همراه دارد (Bakhtiarvand Bakhtiari & Sohrabi, 2012). امروزه با پیشرفت تکنولوژی، روش‌های جدید با صرف زمان و هزینه کمتر جایگزین روش‌های قبلی شده‌اند. یکی از روش‌های پرکاربرد بر پایه تکنولوژی‌های جدید در مطالعات و تحقیقات مربوط به روش‌های مبتنی بر علم سنجش از دور و کاربرد داده‌های ماهواره‌ای است. با تکیه بر روش‌های سنجش از دور و داده‌های با قدرت تفکیک مکانی زیاد مانند ماهواره‌های IKONOS و QuickBird می‌توان در مدت زمان کوتاه و هزینه‌ای بسیار کمتر، به نتایج قابل-ملاحظه‌ای دست یافت (Karami *et al.*, 2010).

نتایج پژوهش پیش‌رو در رابطه با برآورد زی توده گونه‌های سوزنی‌برگ (کاج تهران و سرو نقره‌ای) با استفاده از شاخص‌های طیفی NDVI و DVI در منطقه مورد مطالعه، همبستگی معنی‌داری را نشان داد. با توجه به اثری که افزایش زی توده در افزایش بازتاب در باند مادون قرمز و کاهش بازتاب در باند قرمز دارد، می‌توان انتظار داشت که این شاخص‌ها دقت مناسبی را در برآورد زی توده داشته باشند که این بررسی با نتایج تحقیق Tucker (۱۹۷۹)، Sellers (۱۹۹۸)، Psomas و همکاران (۲۰۱۱) و Porter و همکاران (۲۰۱۴) مطابقت داشت و نشان از مناسب بودن شاخص‌های NDVI و DVI در برآورد مقدار زی توده با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای دارد. همچنین برخلاف نتایج این مطالعه، نتایج پژوهش‌های دیگر نشان داده‌اند که شاخص‌های NDVI و DVI برای برآورد مناسب نیستند، زیرا این دو شاخص در سطوح با پوشش گیاهی فراوان، اشباع می‌شوند و نمی‌توانند به‌عنوان یک شاخص کارآمد در مناطقی که پوشش گیاهی متراکم است (مانند جنگل‌هایی با تاج پوشش بسته) مورد استفاده قرار گیرند (Todd *et al.*, 1998; Gao *et al.*, 2000; Thenkabail *et al.*, 2004).

نتایج آنالیز داده‌های استخراج شده نشان داد که روش تجزیه بافت نسبت به شاخص‌های طیفی برای برآورد زی توده کارایی مناسب‌تری دارد. همچنین نتایج پژوهش پیش‌رو مشابه با نتایج Zhou و همکاران (۲۰۱۳)، استفاده از شاخص بافت را برای برآورد زی توده جنگل‌کاری افاقیا نسبت به استفاده از شاخص‌های طیفی و همچنین متغیرهای توپوگرافی بسیار مناسب‌تر و با دقت بیشتر ارزیابی می‌کند. نتایج این مطالعه مشابه با مطالعه Ouma و Tateishi (۲۰۰۶) بکارگیری روش تجزیه بافت در مطالعات تخمین مقدار زی توده از داده‌های سنجش از دور را تأیید می‌کند. نتایج پژوهش پیش‌رو در برآورد مقدار زی توده با بکارگیری روش PCA، مشابه با تحقیق Tian و همکاران (۲۰۰۴)، بیشترین میزان همبستگی را بین داده‌های سنجش از دور و برآورد میزان زی توده با روش آنالیز مؤلفه اصلی نشان داد و کاربرد این روش در برآورد زی توده را مفید می‌داند.

با توجه به نتایج به دست آمده از پژوهش پیش‌رو، پیشنهاد می‌شود در مطالعات برآورد زی توده به منظور افزایش دقت و افزایش صحت اطلاعات تصاویر ماهواره‌ای، از تصاویر بروز و با کیفیت هم‌زمان با قطع درختان استفاده شود. همچنین برای جلوگیری از قطع درختان می‌توان با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای مناطق جنگل‌کاری شده و تهیه سری تصاویر بروز و ایجاد یک بانک اطلاعاتی دقیق، اطلاعات مربوط به زی توده را هر ساله بروزرسانی کرد. با توجه به نتایج این تحقیق، پیشنهاد می‌شود برای برآورد زی توده گونه‌های سوزنی‌برگ از روش‌های شاخص‌های گیاهی DVI و NDVI و برای برآورد زی توده پهن‌برگان از روش PCA و روش تجزیه و تحلیل بافت استفاده شود.

References

- Anonymous, 1992. Comprehensive and Detailed Plan for Landscape of Mobarake Steel Complex. Industrial Report, pp: 53-55.
- Anonymous., 2001. Review of the Potential for Soil Carbon Sequestration under Bioenergy Crops in the U.K. Scientific Report. Cranfield University Press, pp: 30-38.
- Bakhtiarvand Bakhtiari, S. and Sohrabi, H., 2012.

- its Spatio-Temporal Variations in Temperate Grassland, Northern China. *Remote Sensing*, 6(2): 1496-1513.
- Kabiri, K., 2009. Comparison of carbon sequestration and its spatial pattern in the above-ground woody compartment of a pure and mixed Beech forest (A case study of Gorazbon forest, north of Iran). Ph.D. thesis, University of Tehran, 120p (In Persian).
 - Karami, J., Shataee Joibary, Sh. and Hosseini, S.M., 2010. Capability assessment of IKONOS images for urban vegetation mapping. *Journal of Wood and Forest Science and Technology*, 17(2): 89-105 (In Persian).
 - Laclau, P., 2003. Biomass and carbon sequestration and of ponderosa pine plantation and native cypress forest in northwest Patagona. *Forest Ecology and Management*, 181(28): 17-25.
 - Main-Knorn, M., Moisen, G.G., Healey, S.P., Keeton, W.S., Freeman, E.A. and Hostert, P., 2011. Evaluating the Remote Sensing and Inventory-Based Estimation of Biomass in the Western Carpathians. *Remote Sensing*, 3(12): 1427-1446.
 - Maudie, A., Bannari, A., Deguise, J.C., McNairn, H. and Staenz, K., 1999. Application of hyperspectral remote sensing for LAI estimation in Precision Farming. Proceeding of the 23rd Canadian Symposium on Remote Sensing – 10e Congres de l'Association Quebecoise de Teledetection, Quebec City, Canada, pp: 21-25.
 - Momeni, A., 2013. Urban Forest Canopy Estimated Using Different Methods Field and Remote Sensing Data QuickBird and UltraCAMD. M.Sc. thesis, University of Tarbiat Modares, 89p (In Persian).
 - Ouma, M. and Tateishi, R., 2006. Application of regression tree method for continental percent tree cover mapping. Proceedings of the Annual Conference of the Remote Sensing Society of Japan (RSSJ), Chiba University, Chiba, Japan, pp. 9-10.
 - Panahi, P., Pourhashemi, M. and Hassani Nejad, M., 2011. Estimation of leaf biomass and leaf carbon sequestration of *Pistacia atlantica* in National Botanical Garden of Iran. *Iranian Journal of Forest*, 3(1): 1-12 (In Persian).
 - Pourhashemi, M., Eskandari, S., Dehghani, M., Najafi, T., Asadi, A. and Panahi, P., 2012. Allometric equations for estimating above and below-ground carbon storage of four broadleaved and coniferous trees. *Iranian Journal of Forest and Poplar Research* 20(3): 481-492 (In Persian).
 - Baret, F. and Guyot, G., 1991. Potentials and limits of vegetation indices for LAI and APAR assessment. *Remote Sensing of Environment*, 35(2-3): 161-173.
 - Bordbar, S.K. and Mortazavi Jahromi, S.M., 2006. Carbon sequestration potential of *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh and *Acacia salicina* Lindl. plantation in western areas of Fars province. *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*, 21(3): 110-122 (In Persian).
 - Cairns, M.A., Olmsted, I., Granados, J. and Argaez, J., 2003. Composition and aboveground tree biomass of a dry semi-evergreen forest on Mexico's Yucatan Peninsula. *Forest Ecology and Management*, 186(1-3): 125-132.
 - Chen, J.M., Rich, P.M., Gower, S.T., Norman, J.M. and Plummer, S., 1996. Leaf area index of boreal forests: Theory, techniques, and measurements. *Journal of Geophysical Research*, 102(6): 429-443.
 - Espinosa, M., Acuna, E., Cancino, J., Monoz, F. and Perry, A.D., 2005. Carbon sink potential of radiata pine plantations in Chile. *Forestry*, 78(1): 11-19.
 - Firuzinezhad, M., Tarahi, A.A. and Abdolkhani, A., 2013. Comparison of classification algorithms for land-use mapping: A case study of woodlands Maroon-Behbahan. First National Conference on Strategies for Achieving Sustainable Development in the Agricultural, Natural Resources and the Environment, Tehran. 13 June, pp: 150-158 (In Persian).
 - Gao, X., Huete, A.R. and Miura, T., 2000. Optical-biophysical relationships of vegetation spectra without background contamination. *Remote Sensing of Environment*, 74(12): 609-620.
 - Ghasemi, N., Sahebi, M. and Mohammadzadeh, A., 2011. A review on biomass estimation methods using synthetic aperture radar data. *International Journal of Geomatics and Geosciences*, 1(4): 776-788.
 - Jin, Y., Yang, X., Qiu, J., Li, J., Gao, T., Wu, Q., Zhao, F., Ma, H., Yu, H. and Xu, B., 2014. Remote Sensing-Based Biomass Estimation and

- Sensing, 25(10): 5447-5472.
- Tian, D., Yongtao, H., Armistead, R. and Yuhang, W., 2004. Impacts of Biomass Burning Emissions on Ambient pm_{2.5} in the Southeastern United States Using cmaq. School of Civil and Environmental Engineering. Georgia Institute of Technology, Atlanta, GA, USA, 6p.
 - Todd, S.W., Hoffer, R.M. and Milchunas, D.G., 1998. Biomass estimation on grazed and ungrazed rangelands using spectral indices. *International Journal of Remote sensing*, 19(25): 427-438.
 - Trakunpinut, J., Gajaseni, N. and Ruankawe, N., 2007. Carbon sequestration potential in aboveground biomass of Thong Pha Phum national forest, Thailand. *Applied Ecology and Environmental Research*, 5(9): 10-23.
 - Tucker, C.J., 1979. Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. *Remote Sensing of Environment*, 8(10): 127-150.
 - Varamesh, S. Hosseini, S.M., Abdi. N. and Akbarian, M., 2009. Increment of soil carbon sequestration due to forestation and its relation with some physical and chemical factors of soil. *Iranian Journal of Forest*, 2(4): 11-23 (In Persian).
 - Zhao, K., Popescu, S. and Nelson, R., 2009. Lidar remote sensing of forest biomass: A scale-invariant estimation approach using. *Remote Sensing of Environment*, 113: 182-196.
 - Zhou, J.J., Zhong, Z., Qingxia, Z., Jun, Z. and Haize, W., 2013. Quantification of aboveground forest biomass using Quickbird imagery, topographic variables, and field data. *Remote Sensing*, 7(1): 52-65.
 - Biomass and leaf area index of Caucasian Hackberry (*Celtis caucasica* Willd.) in Taileh urban forest, Sanandaj, Iran. *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*, 19(4): 609-620 (In Persian).
 - Porter, T.F., Chen, C., Long, J.A., Lawrence, R.L. and Sowell, B.F., 2014. Estimating biomass on CRP pastureland: A comparison of remote sensing techniques. *Biomass and Bioenergy*, 66: 268-274.
 - Psomas, A., Kneubuhler, M., Huber, S., Itten, K. and Zimmermann, N.E., 2011. Hyperspectral remote sensing for estimating aboveground biomass and for exploring species richness patterns of grassland habitats. *International Journal of Remote Sensing*, 32(24): 9007-9031.
 - Rafii, Y., Alavipanah, S.K., Malekmohammadi, B., Ramazani Mehriani, M. and Nasiri, H., 2012. Producing land cover maps using remote sensing and decision tree algorithm (Case study: Bakhtegan national park and wildlife refuge). *Geography and Environmental Planning Journal*, 47(3): 23-28 (In Persian).
 - Sellers, P.J., 1998. Canopy reflectance, photosynthesis and transpiration. *International Journal of Remote Sensing*, 6(12): 1335-1372.
 - Steininger, M.K., 2000. Satellite estimation of tropical secondary forest aboveground biomass data from Brazil and Bolivia. *International Journal of Remote Sensing*, 21:1139-1157.
 - Thenkabail, P.S., Stucky, N., Griscom, B.W., Ashton, M.S., Diels, J., Vander, A., Meer, B. and Enclonga, E., 2004. Biomass estimations and carbon stock calculations in the oil palm plantations of African derived savannas using IKONOS data. *International Journal of Remote*

Proper models to estimate aboveground biomass using Quickbird satellite imagery in plantation areas of Isfahan's Mobarakeh Steel Company

S.Z. Hosseini^{1*}, M. Abbasi², S. Bakhtiarvand³ and M. Salehi⁴

1*- Corresponding author, M.Sc. Student, Department of Forest Science, Faculty of Natural Resources and Earth Science, University of Shahrekord, Shahrekord, Iran. E-mail: hosseini91@ut.ac.ir

2- Assistant prof., Department of Forest Science, Faculty of Natural Resources and Earth Science, University of Shahrekord, Shahrekord, Iran

3- Ph.D. Student, Department of Forest Science, Faculty of Natural Resources and Earth Science, University of Shahrekord, Shahrekord, Iran

4- M.Sc. Forestry, Department of Forest Science, Faculty of Natural Resources and Earth Science, University of Shahrekord, Shahrekord, Iran

Received: 10.12.2014

Accepted: 01.12.2015

Abstract

Direct measurement of aboveground biomass of trees is considered as one of the labor-intensive, expensive, time consuming and destructive tasks. The objective of this study was to estimate the biomass of four coniferous and deciduous trees species (*Pinus eldarica*, *Cupressus arizonica*, *Robinia pseudoacacia* and *Morus alba*) by means of high resolution Quickbird remotely-sensed data of over a plantation are established around the industrial domain of Isfahan's Mobarakeh Steel Company. To this aim, three approaches based on vegetation indices, texture analysis and Principal Component Analysis (PCA) were applied to extract required information from satellite imagery. The correlation analysis between field-assessed biomass and the image-based information and regression models were built. The results using vegetation indices (DVI and NDVI) for coniferous species as well as those from texture analysis and PCA for deciduous species showed significant correlations. As depicted by the species-specific regression of biomass revealed the amount of RMSE for *P. eldarica*, *C. arizonica*, *R. pseudoacacia* and *M. alba* to be 53, 20, 30 and 50, respectively. Moreover, species-specific biases for *P. eldarica*, *C. arizonica*, *R. pseudoacacia* and *M. alba* was shown to be 30, 10, -30 and 44 respectively. The results of this study supports the use of the applied Quickbird data for model-based estimation of aboveground biomass across the study site.

Keywords: Satellite Image, plantation, biomass, Mobarakeh Steel Company, QuickBird.